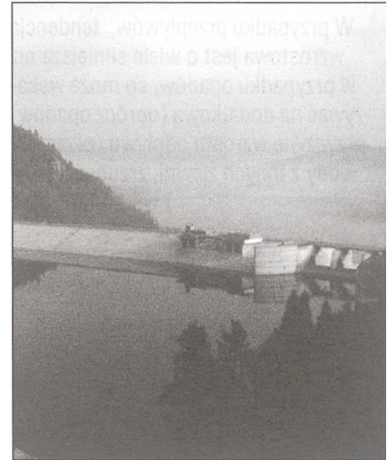


4.7. ZMIANY ODPŁYWU SPOWODOWANE CZYNNIKAMI ANTROPOGENICZNYMI

Działalność gospodarcza wpływa na przekształcenie środowiska naturalnego, w tym także stosunków wodnych. Wyraża się to m.in. w postaci zmian: sieci rzecznej, zasięgu obszarów podmokłych, poziomu wód podziemnych, a także dynamiki i wielkości odpływu. Ingerencja człowieka w stosunki wodne może być zamierzona i niezamierzona. **Ingerencja zamierzona** jest świadomie ukierunkowaną działalnością człowieka w celu zaspokojenia określonych potrzeb związanych z wodą. Polega ona na poborze wody na cele gospodarcze, zrzutach wód komunalnych i przemysłowych, przerzutach wód między dorzeciami, retencjonowaniu wód w zbiornikach i gospodarowaniu nimi w określonych celach, regulacji koryt rzecznych, budowie wałów przeciwpowodziowych, a także melioracjach obszarów rolniczych (nawodnienia, odwodnienia) i miejskich (odwodnienia). Na obszarach uprzemysłowionych i zurbanizowanych, do rzek wprowadzane są znaczne ilości ścieków, w wyniku czego rzeki zatraciły swój naturalny reżim. **Ingerencja niezamierzona** stanowi uboczny efekt działań związanych z realizacją celu zamierzonego. Obejmuje ona często obszar zlewni i wpływ tej ingerencji (np. urbanizacji, zmian użytkowania ziemi, intensyfikacji rolnictwa, eksploatacji górniczej) jest trudny do kontrolowania.



Na zmiany odpływu ze zlewni wpływa obecność zbiorników retencyjnych

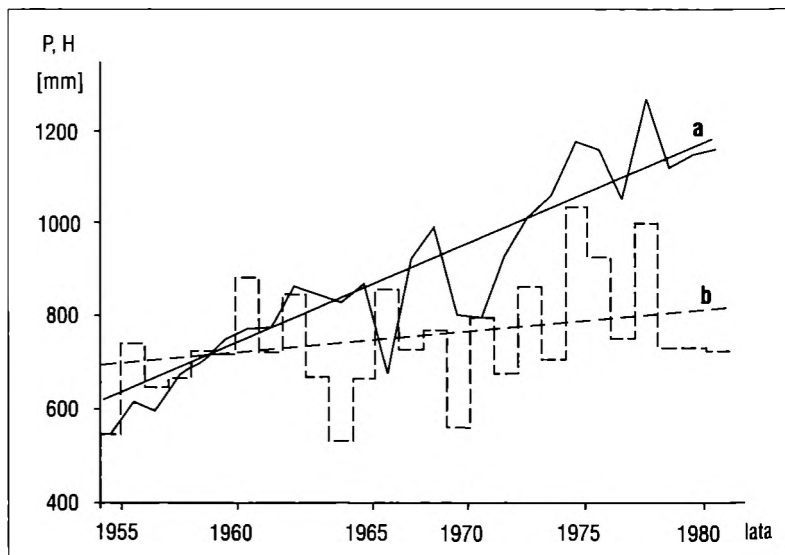
Pewne działania człowieka oddziałują na stosunki wodne w sposób bezpośredni (np. przerzuty wody między dorzeciami, pobór wody), inne oddziałują pośrednio – zwykle z pewnym opóźnieniem (np. wylesianie, urbanizacja, melioracje).

Aby określić zmiany odpływu ze zlewni, należy najpierw przeanalizować charakter działalności gospodarczej oraz jej intensywność. Konieczna jest więc znajomość historii użytkowania terenu, zmian zabudowy i regulacji rzek, melioracji, lokalizacji i wielkości przerzutów i zrzutów wody oraz ścieków itp.

Informacji o zmianach odpływu spowodowanych czynnikami antropogenicznymi może dostarczyć **analiza odpływu** ze zlewni w powiązaniu z **analizą opadów**. Wielkość odpływu ze zlewni jest uzależniona, przede wszystkim, od wielkości opadów, zatem tendencje kształtowania się odpływu i opadu powinny być takie same lub podobne, pod warunkiem iż nie występują czynniki zakłócające ich wzajemne relacje. Jeśli zatem zostanie stwierdzona różnica w nachyleniu prostych regresji odpływu i opadu, oznacza to, iż wystąpiły zmiany odpływu niezależnie od opadów (ryc. 4.7.1). Jeśli prosta odpływu odchyła się ku górze w stosunku do opadu, oznacza to, iż odpływ i współczynnik odpływu wzrasta, natomiast jeśli ku dołowi – odpływ i współczynnik odpływu maleje. Sygnalizuje to zmiany odpływu, które wystąpiły niezależnie od opadu.

Ryc. 4.7.1. Odpływy roczne Rawy (Szopieniec) i sumy roczne opadów w Katowicach w latach 1954–1980 oraz proste regresji odpływu (a) i opadów (b) (Jankowski, 1988)

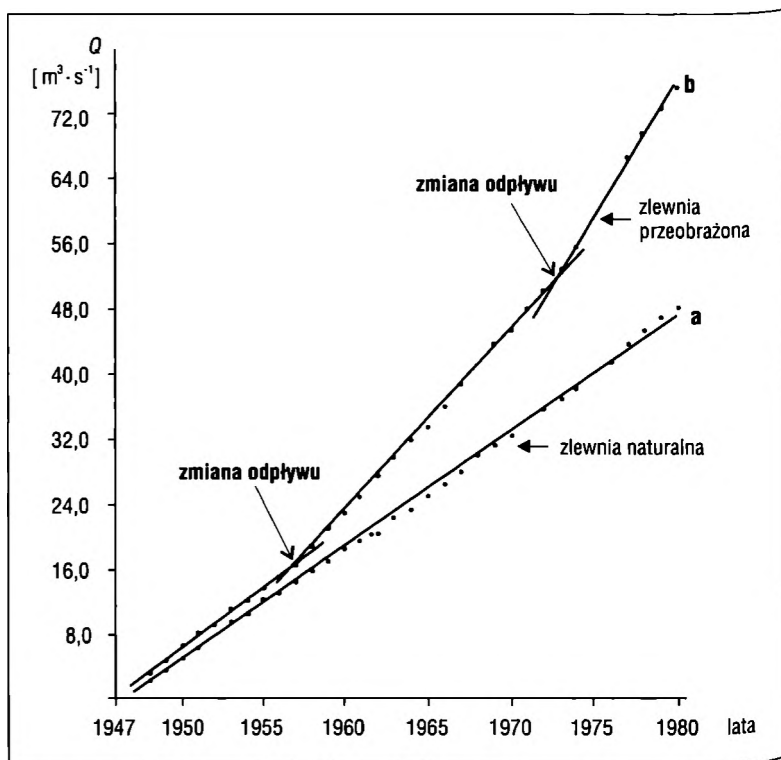
W przypadku przepływów, tendencja wzrostowa jest o wiele silniejsza niż w przypadku opadów, co może wskazywać na dodatkową (oprócz opadów) przyczynę wzrostu odpływu (przerzuty wody z innych zlewni, zrzuty ścieków i wód dołowych).



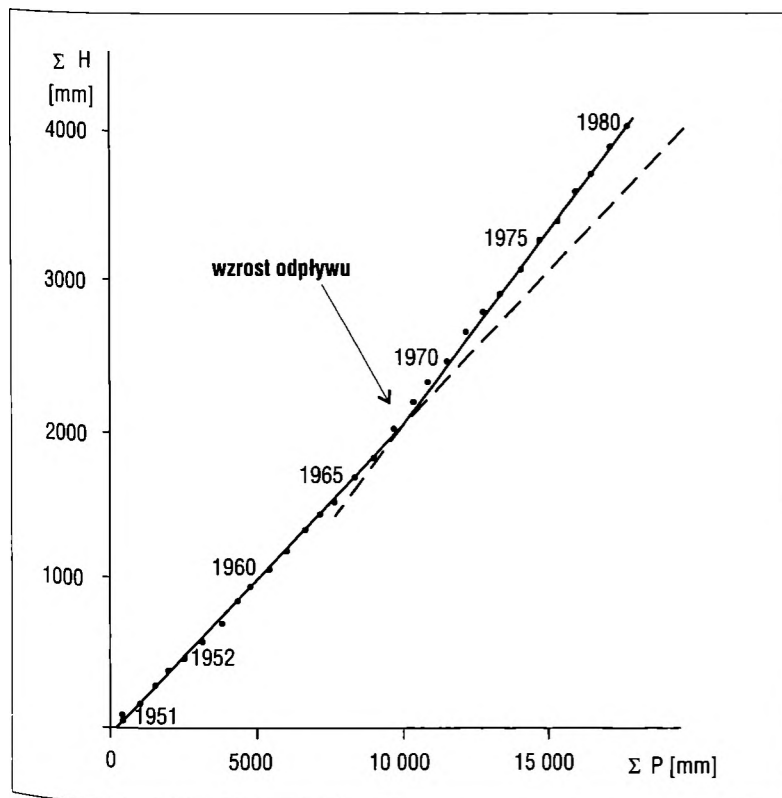
Zmiany odpływu można także prześledzić na podstawie analizy **krzywej kumulacyjnej** (sumowej) średnich przepływów rocznych – miejsca załamania krzywej wskazują na początek wystąpienia zmian odpływu, natomiast nachylenie krzywej informuje o tendencjach zmian (ryc. 4.7.2).

Ryc. 4.7.2. Krzywa kumulacyjna średnich rocznych przepływów Brynicy w Kozłowej Górze (a) i Sosnowcu (b) w latach 1947–1980 (Czaja, 1988)

Krzywa sum przepływów Brynicy w Kozłowej Górze (zlewnia naturalna) ma przebieg zbliżony do linii prostej, natomiast załamania krzywej sum przepływów Brynicy w Sosnowcu (zlewnia przeobrażona) wskazują, iż w latach 1957–1972 oraz 1973–1980 przepływ znacznie wzrósł (zrzuty ścieków i wód dołowych do Brynicy).



Oceny zmian odpływu można również dokonać analizując **podwójną krzywą kumulacyjną** odpływu oraz opadu. Pierwszy etap tej metody polega na zestawieniu odpływu oraz opadu zarówno w okresie kalibracji (naturalne lub quasi-naturalne warunki w zlewni), jak i w okresie ewaluacji (nasilona antropopresja w zlewni). Należy sporządzić wykres, na którym na osi rzędnych zaznacza się skumulowane wartości odpływu, natomiast na osi odciętych – skumulowane wartości opadu (ryc. 4.7.3). O wpływie czynników antropogenicznych świadczy przebieg krzywej: punkt przegięcia



Ryc. 4.7.3. Podwójna krzywa kumulacyjna rocznych sum opadów (P) i odpływu (H) w zlewni górnej Proсны (Rotnicka, 1988)

Przebieg podwójnej krzywej kumulacyjnej wskazuje na wyraźny wzrost odpływu od 1968 r. (intensywne prace melioracyjne w zlewni, regulacja koryta Proсны).

krzywej wskazuje na początek oddziaływania tych czynników, czyli początek okresu ewaluacji. Kąt zawarty między linią będącą przedłużeniem krzywej od miejsca przegięcia a jej faktycznym przebiegiem wskazuje na wielkość zmian.

Następnie wyznacza się średni roczny przepływ i opad w okresie kalibracji oraz oblicza się współczynniki przepływu K w poszczególnych latach na podstawie wzoru:

$$K = \frac{Q_R}{Q} \quad (4.7.1)$$



Ujmowanie i użytkowanie źródeł powoduje zmniejszenie dopływu wody do koryta rzecznego (źródło na Wyżynie Krakowskiej)

gdzie:

K – współczynnik przepływu,

Q_R – średni przepływ w danym roku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

Q – średni przepływ w okresie kalibracji [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

Kolejnym krokiem jest wyliczenie różnic ($K - 1$) oraz zsumowanie ich w całym wieloleciu. Podobną procedurę przeprowadza się w odniesieniu do rocznych sum opadów: należy obliczyć współczynniki opadu K_p w poszczególnych latach według wzoru:

$$K_p = \frac{P_R}{P} \quad (4.7.2)$$

gdzie:

K_p – współczynnik opadu,

P_R – suma opadów w danym roku [mm],

P – średnia roczna suma opadów w okresie kalibracji [mm].

Podobnie jak w przypadku przepływów, różnice ($K_p - 1$) sumuje się i zestawia w tabeli, po czym wykreśla się krzywe kumulacyjne różnic ($K - 1$) oraz ($K_p - 1$) w całym okresie badań (ich kształt nawiązuje do krzywych kumulacyjnych opadu i odpływu). Na podstawie ich przebiegu można oszacować i porównać bezwzględne zmiany opadu i przepływu.

Aby określić zmiany ilościowe przepływów, należy porównać ze sobą średnie przepływy rzeki w okresie kalibracji i ewaluacji, uwzględniając przy tym przebieg opadów. Średni wzrost przepływu w okresie ewaluacji ΔQ_{Re} można także obliczyć według wzoru:

$$\Delta Q_{Re} = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1) Q}{n} \quad (4.7.3)$$

gdzie:

ΔQ_{Re} – średni roczny wzrost przepływu w okresie ewaluacji [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

$\sum (K_i - 1)$ – skumulowane różnice współczynnika przepływu w okresie badawczym,

Q – średnia wielkość przepływu w okresie kalibracji [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

n – liczba lat w okresie ewaluacji.

Przykład

Oceń zmiany odpływu ze zlewni Rawy (Szopienice) w latach 1954–1980 spowodowane nasilonymi czynnikami antropogenicznymi.

Tab. 4.7.1. Zestawienie wartości do obliczenia wpływu czynników antropogenicznych na odpływ Rawy (Szopienice) (Jankowski, 1988)

Rok	Odpływ H		Opad P		Przepływ Q [m ³ s ⁻¹]	K	K - 1	$\Sigma (K - 1)$	K _p	K _p - 1	$\Sigma (K_p - 1)$
	Wielkość roczna	Wartość skumulowana	Suma roczna	Wartość skumulowana							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1954	549,9	549,9	547	547	1,58	0,81	-0,19	-0,19	0,78	-0,22	-0,22
1955	616,1	1166,0	739	1286	1,77	0,91	-0,09	-0,28	1,05	0,05	-0,17
1956	595,2	1761,2	648	1934	1,71	0,88	-0,12	-0,41	0,92	-0,08	-0,25
1957	671,8	2433,0	663	2597	1,93	0,99	-0,01	-0,42	0,94	-0,06	-0,31
1958	699,6	3132,6	723	3320	2,01	1,03	0,03	-0,38	1,03	0,03	-0,28
1959	744,9	3877,5	717	4037	2,14	1,10	0,10	-0,29	1,02	0,02	-0,26
1960	769,2	4646,7	873	4910	2,21	1,13	-0,13	-0,15	1,24	0,24	-0,02
1961	769,2	5415,9	723	5633	2,21	1,13	0,13	-0,02	1,03	0,03	0,00
1962	859,7	6275,6	836	6469	2,47	1,27	0,27	0,25	1,19	0,19	0,19
1963	786,6	7062,2	663	7132	2,26	1,16	0,16	0,40	0,94	-0,06	0,13
1964	720,5	7782,7	522	7654	2,07	1,06	0,06	0,47	0,74	-0,26	-0,12
1965	758,8	8541,5	654	8308	2,18	1,12	0,12	0,58	0,93	-0,07	-0,20
1966	688,3	9209,8	844	9152	1,92	0,98	-0,02	0,57	1,20	0,20	0,00
1967	904,9	10114,7	714	9866	2,60	1,33	0,33	0,90	1,01	0,01	0,02
1968	974,6	11089,3	759	10625	2,80	1,44	0,44	1,34	1,08	0,08	0,10
1969	783,1	11872,4	546	11171	2,25	1,15	0,15	1,49	0,78	-0,22	-0,13
1970	779,7	12652,1	780	11951	2,24	1,15	0,15	1,64	1,11	0,11	-0,02
1971	911,9	13564,0	660	12611	2,62	1,34	0,34	1,98	0,94	-0,06	-0,08
1972	995,4	14559,4	842	13453	2,86	1,47	0,47	2,45	1,20	0,20	0,11
1973	1040,7	15600,1	688	14141	2,99	1,53	0,53	2,98	0,98	-0,02	0,09
1974	1159,1	16759,2	1011	15152	3,33	1,71	0,71	3,69	1,44	0,44	0,53
1975	1138,2	17897,4	903	16055	3,27	1,68	0,68	4,37	1,28	0,28	0,81
1976	1026,8	18924,2	734	16789	2,95	1,51	0,51	4,88	1,04	0,04	0,85
1977	1134,7	20058,9	700	17489	3,26	1,67	0,67	5,55	0,99	-0,01	0,85
1978	1096,4	21155,3	708	18197	3,15	1,62	0,62	6,17	1,01	0,01	0,85
1979	1127,7	22283,0	709	18906	3,24	1,66	0,66	6,83	1,01	0,01	0,86
1980	1134,7	23417,7	700	19606	3,26	1,67	0,67	7,50	0,99	-0,01	0,85

Bibl. Jag

Rozwiązanie

1. Zestawienie danych hydrometeorologicznych w tabeli i obliczenie wartości skumulowanych (tab. 4.7.1, kolumny od 1 do 6)

2. Wykreślenie krzywych kumulacyjnych odpływu i opadu oraz analiza merytoryczna krzywych

Krzywe kumulacyjne wykreśla się na podstawie wartości z kolumn 3 i 5 (tab. 4.7.1, ryc. 4.7.4). Początkowo krzywe prawie się pokrywają, jednakże w latach 60. daje się zauważyć szybszy przyrost odpływu niż opadu, co wskazuje na początek nasilonego wpływu czynników antropogenicznych na odpływ. Można więc przyjąć, że do roku 1961 wpływ czynników antropogenicznych był słaby (okres kalibracji), zaś później wpływ czynników antropogenicznych był znacznie silniejszy (okres ewaluacji).

3. Obliczenie średniego przepływu w okresie kalibracji

Okres kalibracji przypada na lata 1954–1961. Średnie natężenie przepływu w tym okresie jest równe średniej arytmetycznej i wynosi ono $1,95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

4. Obliczenie średniego opadu w okresie kalibracji

Średni opad w okresie kalibracji jest równy średniej arytmetycznej opadów z okresu 1954–1961 i wynosi 704 mm.

5. Obliczenie współczynnika przepływu K oraz współczynnika opadu K_p w poszczególnych latach według wzorów 4.7.1 i 4.7.2 oraz ich zestawienie tabelaryczne (tab. 4.7.1, kolumny 7 i 10)

Przykład obliczeń w odniesieniu do 1957 r.:

$$K_{1957} = \frac{1,93}{1,95} = 0,99$$

$$K_{p1957} = \frac{663}{704} = 0,94$$

6. Obliczenie różnic $(K - 1)$ oraz $(K_p - 1)$ w poszczególnych latach (tab. 4.7.1, kolumny 8 i 11)

Przykład obliczeń w odniesieniu do 1957 r.:

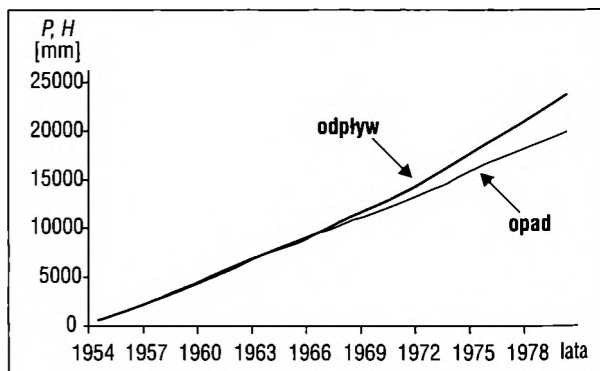
$$0,99 - 1 = -0,01$$

$$0,94 - 1 = -0,06$$

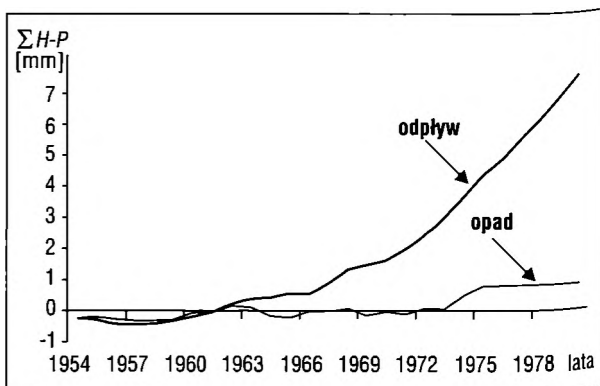
7. Zsumowanie różnic $(K - 1)$ oraz $(K_p - 1)$ i zestawienie ich w tabeli (tab. 4.7.1, kolumny 9 i 12)

8. Sporządzenie wykresu krzywych kumulacyjnych różnic $(K - 1)$ oraz $(K_p - 1)$ w całym okresie badań

Zaznacza się wyraźna różnica w przebiegu krzywej kumulacyjnej różnic współczynnika przepływu i współczynnika opadów (ryc. 4.7.5). Wartość skumulowanych różnic współczynnika przepływu wynosi 7,50, natomiast współczynnika opadów 0,85; wskazuje to na



Ryc. 4.7.4. Krzywe kumulacyjne opadów i odpływu w zlewni Rawy (Szopienice) (Jankowski, 1988)



Ryc. 4.7.5. Krzywe kumulacyjne różnic współczynnika opadów i współczynnika przepływów w zlewni Rawy (Szopienice) (Jankowski, 1988)

bardzo duży wpływ czynników antropogenicznych na przepływ Rawy ($7,50 - 0,85 = 6,65$). Średni roczny wzrost przepływu w okresie ewaluacji ΔQ_{Re} można obliczyć według wzoru (4.7.3):

$$\Delta Q_{Re} = 7,50 \cdot \frac{1,95}{19} = 0,77 \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$$

Odpowiedź

Średni roczny wzrost przepływu Rawy w latach 1962–1980 spowodowany nasilonymi czynnikami antropogenicznymi wyniósł $0,77 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

Zadanie

Sporządź podwójną krzywą kumulacyjną odpływu i opadu w zlewni Rawy (Szopienice) w latach 1954–1980. Czy początek okresu ewaluacji wyznaczony według krzywej pokrywa się z początkiem wyznaczonym w powyższym przykładzie?

